

# 放電加工による微細深穴加工

Deep Micro-Drilling by EDM

増 沢 隆 久\*・塚 本 純 一\*・藤 野 正 俊\*

Takahisa MASUZAWA, Jun-ichi TSUKAMOTO and Masatoshi FUJINO

## 1. は じ め に

各種ノズルやガイドをはじめ、多くの機器部品、工具などにおいて、微細な穴加工の必要性はますます高くなっている<sup>1)</sup>。これらの微細穴の要求の中には、穴径に対し深さが5倍以上あるような、比較的深い穴に対するものが少なくない。しかし、こうした深穴の加工は、たとえば直径と同程度の深さの穴の加工に比べると、多くの難しい点があり、微細穴加工に用いられる各手法のどれによっても、実現が容易ではない。本報では、放電加工による微細穴加工について、深穴加工の実用化に関する実験的研究を行った結果について述べる。

## 2. 現 状 と 問 題 点

放電加工による場合、微細穴加工では一般に直径のおよそ5倍を越えると、加工時間が急激に増大し、拡大しるも大きくなり、加工精度が低下する。したがって、直径の5倍以下の深さが実用的な範囲とされている。

このように深い穴の放電加工が難しい原因の主要なものと考えられるのは、加工生成物の排除が難しくなることである。特に、加工液である油（灯油に近い炭化水素系の油が多く用いられる）は、放電による高温で分解し、除去現象に有効に働く気化生成物のほかに、大量の炭素を生成する。この炭素の微粒は適量存在する場合は放電の繰り返しを安定化する効果があるが、穴が深くなると過剰な炭素が排出されなくなり、短絡や異常放電を引き起こし、加工の進行が不能となる。

もう一つ、深穴の加工で難しい点は、長い電極を用いなければならないことである。電極は通常、電極消耗を見込むと、加工しようとする穴の深さの2～3倍の長さが必要である。たとえば直径 $50\mu\text{m}$ で、深さが $500\mu\text{m}$ の穴を加工しようとする、直径 $40\sim 45\mu\text{m}$ 程度で、長さが $1500\mu\text{m}$ ぐらいの電極が必要であり、このような微細な軸を加工すること、また、送り方向から傾かないよう

に正確に取りつけるのは容易ではない。

本研究では、加工液として、炭素を遊離しない水を用いること、また加工を水平方向に行う<sup>2)</sup>ことで、短絡や異常放電を防止することを試みた。また、精度の良い長い電極を傾きのない状態で得るという問題は、電極作成にWEDG法<sup>3)</sup>を採用することで解決することにした。水を加工液とすると深穴加工が可能となることは、一部報告されている<sup>4)</sup>が、データ数もわずかで、まだ実用には至っていない。

## 3. 実験装置、方法

図1に実験装置本体の概観を示す。電極ホルダはベルト駆動により回転しながら、V形軸受上をスライドして、穴加工方向（水平方向）の送りが与えられるようになっている。工作物は、電極軸と垂直でかつ水平方向にNCで位置決めされるテーブル上に、板面が鉛直方向になるように取りつける。

手順は次のとおりである。まず電極材料、工作物材料

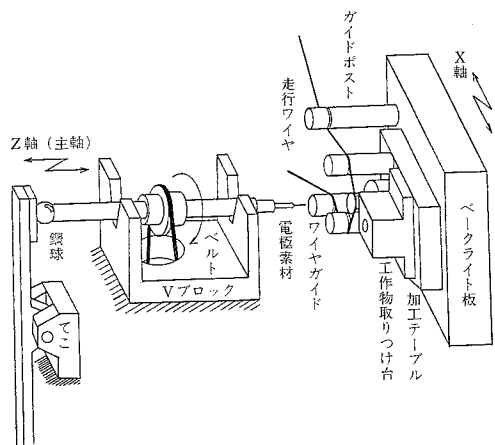


図1 実験装置本体の概観

\*東京大学生産技術研究所 第2部

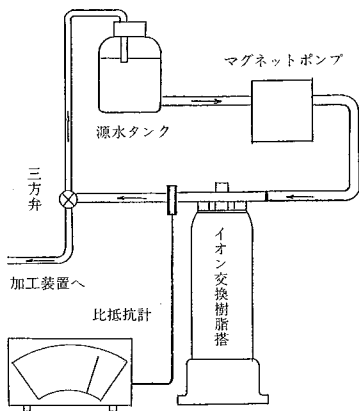


図2 加工液（水）の精製、循環系

をそれぞれ、電極ホルダとテーブル上に取りつける。次に、サファイア製のワイヤガイド上を走行する $\phi 0.2\text{mm}$ 黄銅線を用いて、WEDG法によって電極を所定の寸法、形状に成形する。次に工作物を所定の位置まで移動させ、穴加工を行う。

加工液としては、イオン交換水を用いた。最近では形彫り放電加工でも水を加工液とする場合があるが<sup>5)6)</sup>、微小穴加工の場合は、電界集中により、わずかな導電性でも電解による工作物の損傷が起こる。そこで、図2のような水の精製・循環系を構成し、理論限界値（約 $18\text{M}\Omega\text{cm}$ ）に近いところまで比抵抗を高めた状態で使用した。三方弁を経て取り出した純水は、内径 $800\mu\text{m}$ のステンレス製注射針から加工部位に掛け流した。加工電源としてはRC回路<sup>7)</sup>を使用した。

#### 4. 実験結果

##### 4.1 水による横加工の効果

まず、純水を用いて水平方向に加工したことの効果を確かめるために、直径 $80\mu\text{m}$ および $40\mu\text{m}$ に成形した電極により穴加工実験を行った。電極材料は超硬合金、工作物はSK5の焼き入れ材である。

電極作成は、 $\phi 300\mu\text{m}$ の素材を、開放電圧 $80\text{V}$ 、コンデンサ容量 $47\text{pF}$ で端面加工後、容量 $2200\text{pF}$ で側面荒加工、

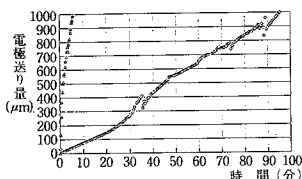


図4 油中と水中の加工進行状況の違い

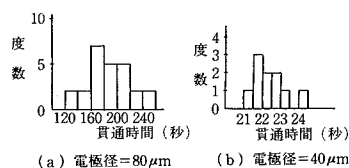


図5 貫通に要した時間の分布

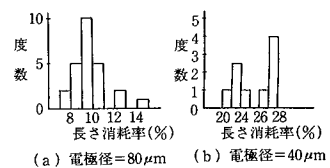


図6 電極長さ消耗率の分布

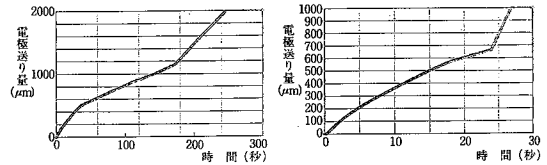
(a) 電極径=80 $\mu\text{m}$ (b) 電極径=40 $\mu\text{m}$ 

図3 深穴加工の進行状況

再び $47\text{pF}$ で側面仕上げ加工を行った。仕上がり直径 $80\mu\text{m}$ 、有効長 $2000\mu\text{m}$ の場合で、所要時間はおよそ30分であった。

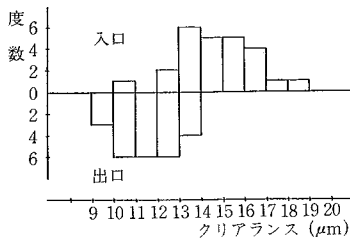
このようにして作成した電極により、穴加工を行った時の加工進行状況を示したのが、図3(a)および(b)である。図は加工開始後の時間に対する電極の送り込み量をプロットしたものである。(a)は電極径 $80\mu\text{m}$ で、板厚 $1000\mu\text{m}$ の工作物に貫通穴加工を行った場合、(b)は電極径 $40\mu\text{m}$ で、板厚 $500\mu\text{m}$ に同じく貫通穴を加工した場合である。加工条件は共に、開放電圧 $80\text{V}$ 、コンデンサ容量 $100\text{pF}$ である。

まず、 $\phi 80\mu\text{m}$ の場合を見ると、図のように、最初の $500\mu\text{m}$ ほどは急速に加工が進行し、その後やや速度が低下するが、およそ3分で $1000\mu\text{m}$ を貫通している。一方、直径 $40\mu\text{m}$ の電極で加工した場合は、加工開始から貫通まで極めて安定に加工が進み、わずか20数秒で貫通している。

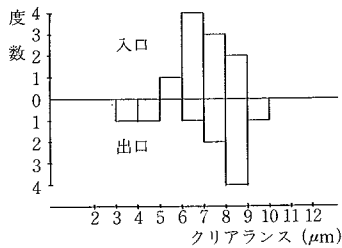
いずれも、穴径の約10倍の深さの加工であり、従来の油を加工液としたやり方ではほとんど加工不能の深穴である。また、穴径の5倍までの経過を見ても、油を用いた場合に比べ、比較にならないほど加工時間が短い。参考までに、油による加工例と上の加工例とを同一スケール上に示したものを図4に示す。この油を用いた例は工作物がSKD11であるが、SK5とでは大きな差はないので、水を用いたことの効果は明らかである。

貫通に要した時間のヒストグラムを図5に示す。このように、貫通時間にはばらつきが認められるが、送りサーボ系の不備や、水の掛け流し方の微妙な変化によるものと思われる。しかし、放電加工の加工時間は、一般的に

## 研 究 速 報



(a) 電極径=80 μm



(b) 電極径=40 μm

図 7 クリアランスの分布

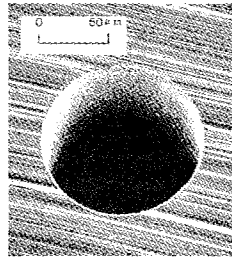
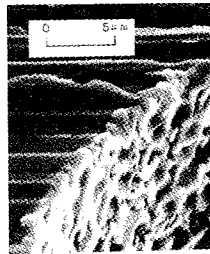
図 8 加工された穴の入口  
付近の外観  
(電極径=80 μm)

図 9 穴入口の拡大図

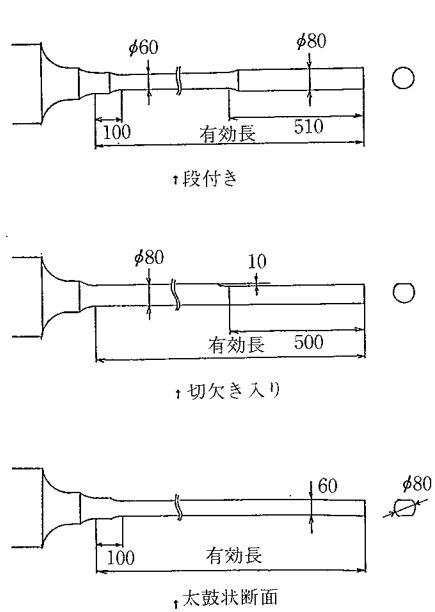


図10 异形電極

もかなりばらつきがあるので、この程度でも実用性は十分あると考えられる。

電極の長さ消耗率は図6のような分布となった。 $\phi 40 \mu\text{m}$ の場合は少々大きい値であるが、放電条件が $\phi 80 \mu\text{m}$ の場合と同じであるので、相対的に荒い加工条件となっているためであると考えられる。

加工精度を考える上で重要な、クリアランスは、図7のような値となった。このように、油中での加工に比べ、水中ではクリアランスが大きくなる傾向が見られた。ばらつきもやや大きく、装置そのものの完成度が低いことを考慮しても、油中での加工に比べて精度が低くなる可能性を示唆している。もっとも、油中で加工が可能な範囲の浅い穴と比較しなければ正しい評価はできない。油中で時間をかけて穴径の10倍の深穴加工を行ったとしたら、穴径、穴形状に関する精度は大幅に低いものとなるであろう。

#### 4.2 加工穴の性状

水を加工液とする場合に最も懸念されるのは、電解現象の影響、たとえば、加工面や未加工面の腐食、エッジ部のダレなどである。

図8は加工穴の入り口付近のようすを示したもので、未加工面は加工前の状態がそのまま保たれている。またエッジ部もシャープであり、ダレはほとんど見られない。エッジ部をさらに拡大した写真を図9に示す。また、これらの写真から、加工面は放電によるクレータで完全に

おおわれており、電解によるクレータ形状のくずれなどはほとんど認められない。

#### 4.3 异形電極による丸穴加工

電極成形法として用いたWEDG法は、円断面以外の形状の軸も加工できる方法である。そこで、図10に示すような3種の异形電極を作成し、回転させて丸穴加工を行い、円柱状電極を用いた場合と比較してみた。目的は、异形状とすることで、加工液(水)の流入、排出を良くする、すなわち、加工生成物の極間からの排除を促進することである。

これらの電極のうち、先端部を除いて軸径を少し細くして逃げを設けた「段付き」電極は全く有効性が認められず、かえって、逃げの部分が穴に入り始めると、加工不能に陥る傾向が顕著であった。

「切欠き入り」電極は、加工能率はほとんど向上しなかったが、加工時の安定性が若干向上する傾向が見られた。

「太鼓状断面」電極は、他の形状のものと比べ明らかに加工性能の向上が見られた。図11は図3(a)の円柱状電極と同一条件で加工した時の加工進行状況を同一スケールで示したもので、「太鼓状断面」電極は円柱状電極に比べ、より安定に、かつ極めて速く加工できることがわかる。

また、図12は、同一加工条件での入り口、出口のクリアランスの関係をデータごとにプロット点で示したもの

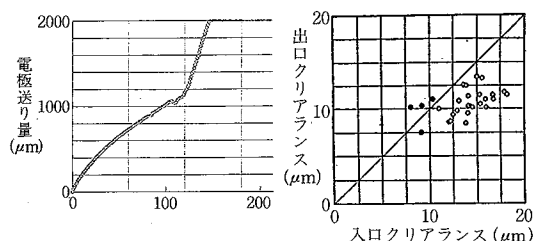


図11 太鼓状断面電極による加工の進行状況

図12 出入口クリアランスに対する電極形状の影響

である。●で示したのは「太鼓状断面」電極のデータで、○で示したのは、その他の形状（大部分は円柱状）の電極によるデータである。これからわかるように、「太鼓状断面」電極を用いると、クリアランスは全体に小さくなる。また、その他の形状の電極では入口のほうが出口よりクリアランスが大きくなる傾向があるのに対して、「太鼓状断面」電極では入口と出口の差が少ない、すなわち、テーパの少ないストレートな穴が加工される。

このように、電極を円柱形状から「太鼓状断面」とすることによって、加工能率の向上と、加工精度の向上が共に達成されることがわかった。ただし、円柱状の電極の両側を削り落とした形とするので、電極作成時間は若干長くなる。なお、もし、体積電極消耗率が不変なら、断面積が小さいほうが長さ消耗率が大きくなるはずであるが、今回の実験範囲では、「太鼓状断面」電極のほうが、長さ電極消耗率も小さくなるという、やや予想外の結果も得られている。

## 5. む す び

深さと直径の比が大きい、いわゆる深穴の微細加工の実用化を目的とし、水を加工液とする放電加工法について実験を含む検討を行った結果、次のことが明らかと

になった。なお、工作物はSK5の焼き入れ材、加工電源はRC回路についての結果である。

- 1) 純水を加工液とした横放電加工により、直径の10倍以上の深さの深穴が安定に加工できる。
- 2) 加工時間は $\phi 100\mu\text{m}$ 、深さ $1000\mu\text{m}$ の穴で2～3分、 $\phi 50\mu\text{m}$ 、深さ $500\mu\text{m}$ の穴で20数秒と、非常に短い。
- 3) 純水の比抵抗を $10\text{M}\Omega\text{cm}$ 程度に保てば、電解による腐食痕や、ダレのない加工が可能となる。
- 4) クリアランスは $\phi 80\mu\text{m}$ の電極に対し、 $15\mu\text{m}$ 前後と、油中に比べ大きくなる。
- 5) 太鼓状断面電極を用いると、加工速度、加工精度、電極消耗率が改善される。

最後に、本研究の実施にあたり、㈱ミットヨ、三菱金属㈱、松下技研㈱、オグラ宝石精機工業㈱の各社にご協力をいただきましたので、ここに謝意を表します。

(1988年8月3日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 増沢隆久：微細穴、微細軸の放電加工とその応用、素形材、29、5 (1988) 7—12
- 2) 根橋紀之、国枝正典、増沢隆久：回転式横放電加工、電気加工技術、12、36 (1988) 22—28
- 3) 増沢隆久、藤野正俊：ワイヤ放電研削による細軸加工とその応用、生産研究、37、11 (1985) 29—34
- 4) 加賀谷孝三郎、大石義為：加工液に水を用いた微電微細加工、電気加工技術、9—26 (1985) 14—20
- 5) T. Masuzawa, K. Tanaka: Water Based Dielectric Solution for EDM, Annals of the CIRP, 32, 1 (1983) 119—122
- 6) W. König, L. Jörres: Aqueous solutions of organic compounds as dielectrics for EDM sinking, Annals of the CIRP, 36, 1 (1987) 105—109
- 7) 増沢隆久：RC回路の放電エネルギー：電気加工技術、11、32 (1987) 1—6